

**Liq. hydrogen@ storage vessel - used as fuel tank for combustion engines and has large pump regulating pressure in tank and accelerating fuelling process**

**Patent number:** DE4212626  
**Publication date:** 1993-10-21  
**Inventor:** SEIFERS HILMAR DIPL ING (DE)  
**Applicant:** LINDE AG (DE)  
**Classification:**  
- international: F17C9/02; B60K15/07; F02M21/06  
- european: B60K15/03B, F02M21/06, F17C9/02  
**Application number:** DE19924212626 19920415  
**Priority number(s):** DE19924212626 19920415

**Also published as:**

FR2690223 (A

**Abstract of DE4212626**

A storage vessel holds liquid hydrogen. The novelty is that a very large pump is secured to the wall of the storage vessel; that the upper end of the pump projects into the gas storage space, and that an evaporator-heater is incorporated within this space and secured to the upper end of the pump or within the pump; that a supply pipe leads to the interior of the storage vessel and ends in a sprinkler rose; and that an overflow vessel is located at the upper end of the pump, from which leads an overflow pipe. Several metal baffles are arranged vertically and in parallel within the storage vessel. The pump operation is initiated and stopped by a pressure sensor located within the gas storage space.

**USE/ADVANTAGE** - The assembly stores liquid hydrogen for use as an energy source for combustion engines. The arrangement minimises unwanted pressure variations, and accelerates the refuelling process which in addition is simpler and safer.

---

Data supplied from the **esp@cenet** database - Worldwide

**THIS PAGE BLANK (USPTO)**



①9 BUNDESREPUBLIK  
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES  
PATENTAMT

⑫ **Offenlegungsschrift**  
⑩ **DE 42 12 626 A 1**

⑤1 Int. Cl.<sup>5</sup>:  
**F 17 C 9/02**  
B 60 K 15/07  
F 02 M 21/06

②1 Aktenzeichen: P 42 12 626.6  
②2 Anmeldetag: 15. 4. 92  
④3 Offenlegungstag: 21. 10. 93

DE 42 12 626 A 1

⑦1 Anmelder:  
Linde AG, 65189 Wiesbaden, DE

⑦2 Erfinder:  
Seifers, Hilmar, Dipl.-Ing. (FH), 8000 München, DE

⑤4 Speicherbehälter für flüssigen Wasserstoff und Verfahren zum Betreiben eines Antriebsaggregats mit flüssigem oder gasförmigem Wasserstoff aus einem Speicherbehälter

⑤7 Die Erfindung betrifft einen Speicherbehälter für flüssigen Wasserstoff. Im Inneren des Speicherbehälters ist eine Mammutpumpe befestigt, deren oberes Ende in den Gasraum des Speicherbehälters hineinragt. Ferner ist in dem Gasraum eine Verdampfer-Heizung vorgesehen. Die Verdampfer-Heizung ist wahlweise am oberen Ende oder innerhalb der Mammutpumpe befestigt. In das Innere des Speicherbehälters führt eine Einspeiseleitung, die an ihrem Ende eine Brause aufweist. Am oberen Ende der Mammutpumpe ist ein Überlaufgefäß, aus dem eine Entnahmeleitung führt, vorgesehen.

DE 42 12 626 A 1

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

BUNDESDRUCKEREI 08. 93 308 042/123

9/46

## Beschreibung

Die Erfindung betrifft einen Speicherbehälter für flüssigen Wasserstoff. Ferner betrifft die Erfindung ein Verfahren zum Betreiben eines Antriebsaggregats mit flüssigem oder gasförmigem Wasserstoff aus einem Speicherbehälter.

Im folgenden werden als Bezeichnungen für gasförmigen bzw. flüssigen Wasserstoff die Abkürzungen GH<sub>2</sub> (gaseous hydrogen) bzw. LH<sub>2</sub> (liquid hydrogen) verwendet.

Wasserstoff gewinnt gegenwärtig durch zunehmenden Energiebedarf und gestiegenes Umweltbewußtsein als Energieträger immer mehr an Bedeutung. So sind Überlegungen im Gange, in naher Zukunft Flugzeuge, Lastkraftwagen, Busse sowie Personenkraftwagen mittels mit Wasserstoff betriebener Turbinen bzw. Motoren anzutreiben. Die Speicherung des Wasserstoffs an Bord der obengenannten Verkehrsmittel ist dabei in flüssiger Form am sinnvollsten. Zwar muß der Wasserstoff dazu auf etwa 25 K abgekühlt und auf dieser Temperatur gehalten werden, was nur durch entsprechende Isoliermaßnahmen an den Speicherbehältern bzw. -tanks zu erreichen ist, doch ist eine Speicherung in gasförmigem Zustand aufgrund der geringen Dichte von GH<sub>2</sub> in der Regel in den obengenannten Verkehrsmitteln nicht realisierbar. Aus sicherheitstechnischen Gründen bedarf es bei wasserstoffgetriebenen Fahrzeugen weiterer Sicherheitsmaßnahmen — auf die hier jedoch nicht näher eingegangen wird — so daß die notwendige Isolation des Speicherbehälters nicht nur dem Aufrechterhalten der Temperatur dient. Einen Überblick über den aktuellen Stand der Wasserstoff-Entwicklung im Hinblick auf seine Verwendung als Kraftstoff geben z. B. die Artikel "Flüssiger Wasserstoff als Motorenkraftstoff der Zukunft", Prof. Dr. W. Peschka, Sonderdruck aus "Maschinenwelt-Elektrotechnik", 43. Jg, Heft 8/9-1988 und "Liquid Hydrogen Fueled Automobiles: On-Board and Stationary Cryogenic Installations", R. Ewald, Cryogenics 1990, Vol. 30 Sept. Supplement.

Wasserstoffgetriebene Motoren benötigen GH<sub>2</sub> bei 3 bis 4 bar Überdruck. Die Betankung des Speicherbehälters bzw. -tanks mit LH<sub>2</sub> erfolgt bei einer Temperatur von etwa 20 K bei geringem Überdruck aus einem stationären Tank mittels einer speziell dafür vorgesehenen Kupplung über ein, in den Speicherbehälter hineinragendes Tauchrohr. Der eigentliche Betankungsvorgang setzt sich aus mehreren Einzelschritten zusammen. Dazu gehören auch mehrere Evakuier- und Spülschritte des Leitungssystems, weshalb die Betankungsprozedur nahezu eine Stunde in Anspruch nimmt. Während dieser Zeit kommt es beim Druckentlasten des Speicherbehälters sowie durch Verdampfung und Entspannung von LH<sub>2</sub> in der Befüllleitung zu nicht unerheblichen Verlusten an LH<sub>2</sub> bzw. GH<sub>2</sub>, eine Tatsache, die sich bzgl. der Gesamtenergiebilanz wasserstoffgetriebener Antriebsaggregate negativ bemerkbar macht.

Die Handhabung herkömmlicher Betankungssysteme ist somit nach wie vor als umständlich und zeitraubend zu bezeichnen. Darüber hinaus ist ein beträchtlicher verfahrenstechnischer Aufwand nötig, um die Betankungsprozedur zu ermöglichen. Hierzu ist es bisher üblich, eine am Speicherbehälter angebrachte vakuumisolierte Ventilbox vorzusehen, in der in der Regel vier elektromagnetisch betätigbare Absperrventile und drei Rückschlagventile enthalten waren. Mittels der bzw. des in den beiden deutschen Patentanmeldungen P 41 04 711 (Titel: "Kupplung für vakuumisolierte Rohr-

oder Schlauchleitungen") bzw. P 41 04 766 (Titel: "Betankungssystem für ein mit kryogenem Wasserstoff betriebenes Kraftfahrzeug") beschriebenen Kupplung bzw. Betankungssystems konnte die Zahl der Ventile bereits auf zwei Stück reduziert werden.

Das in den Speicherbehälter hineinragende Tauchrohr wird während des Fahrbetriebes als Entnahmeleitung für den LH<sub>2</sub> verwendet und dabei in entgegengesetzter Richtung durchströmt. Vor Beginn des Fahrbetriebes ist jedoch zunächst ein Druckaufbau im Speicherbehälter durchzuführen. Dies geschieht durch das Einblasen von GH<sub>2</sub> aus externen Gasflaschen über die Betankungsleitung des Speicherbehälters in die Flüssigkeit. Da der Druckaufbau gegenwärtig noch tankstellenseitig erfolgt, resultiert daraus eine zusätzliche Verkomplizierung und zeitliche Verzögerung des Betankungsvorganges.

Ein zum Stand der Technik zählender Speicherbehälter ist in Fig. 1 dargestellt. In dieser und den weiteren noch folgenden Figuren besitzen identische Bauteile gleiche Bezugszeichen.

Im folgenden sei die der Erfindung zugrunde liegende Thematik anhand eines wasserstoffgetriebenen Kraftfahrzeuges dargestellt und diskutiert.

Der Speicherbehälter 1 für LH<sub>2</sub> wird der Übersichtlichkeit halber ohne die für die Isolierung des Speicherbehälters notwendigen Bauteile dargestellt. In der Regel ist nur ein Befüllen des Speicherbehälters mit LH<sub>2</sub> bis etwa 95% des Speichervolumens zulässig. Über dem LH<sub>2</sub> 2 bleibt ein Leervolumen 3 bestehen. Über die Einspeise- und Entnahmeleitung 4 wird der Speicherbehälter 1 während des Betankungsvorganges mit LH<sub>2</sub> befüllt. Am Ende der Betankungsprozedur wird über Leitung 4 GH<sub>2</sub> in den LH<sub>2</sub> 2 gepumpt, um den für den Fahrbetrieb notwendigen Betriebsdruck von 3 bis 4 bar zu erzeugen. Nach Beendigung des Betankungsvorganges wird vor dem Beginn des Fahrbetriebes die am Boden des Speicherbehälters 1 angebrachte elektrische Heizung 6 eingeschaltet. Dies ist notwendig, um durch das Verdampfen eines Teiles des LH<sub>2</sub>'s den für den Fahrbetrieb notwendigen Druck von 3 bis 4 bar aufrechterhalten zu können. Der für den Fahrbetrieb notwendige LH<sub>2</sub> wird über Leitung 4 entnommen, im Wärmetausch mit Motorkühlwasser verdampft und angewärmt (in der Figur nicht dargestellt) und dem Motor zugeführt. Der Speicherbehälter weist trotz der aufwendigen Isolierung durch Wärmeeintrag eine tägliche Verdampfungsrate von etwa 2% des gespeicherten LH<sub>2</sub>'s auf. Dies führt dazu, daß bei längeren Standzeiten zwangsläufig der maximale Betriebsdruck des Speicherbehälters, der in der Regel bei 5 bar liegt — ansonsten müßte der Speicherbehälter noch druckfester ausgelegt werden —, überschritten werden kann, weshalb über Leitung 5 ein Abblasen des verdampften GH<sub>2</sub>'s in die Atmosphäre notwendig wird.

Während des Fahrbetriebes treten im Speicherbehälter, im besonderen in der Zeit nach dem Betanken, unerwünschte Druckabsenkungen auf. Die bisher in den Speicherbehältern integrierten elektrischen Verdampferheizungen sind jedoch nicht in der Lage, diese entsprechend schnell auszuregulieren. Die Gründe dafür sind in erster Linie folgende:

Der Druckaufbau durch Einblasen von GH<sub>2</sub>, der unmittelbar nach dem Betanken erfolgt, führt nicht gleichzeitig zu einer, dem Betriebsdruck entsprechenden Siedepunkterhöhung. Die Folge davon ist eine Rückkondensation von GH<sub>2</sub> durch den unterkühlten LH<sub>2</sub>. Dieser Effekt tritt bei bewegter, schwappender Flüssigkeit —

wie sie bei einem fahrenden Kraftfahrzeug gegeben ist — unter Umständen so stark auf, daß die Druckregelung nur mit Verzögerung nachregeln kann. Damit geht ein merklicher Abfall der Motorleistung einher. Die Ursache für die Trägheit der Druckhalteregelung ist nicht in der Heizleistung, sondern in der Ausbildung der Druckaufbauheizung zu suchen. Diese besteht aus einer Widerstands-Heizwicklung, die am Boden des Speicherbehälters angeordnet ist. Diese Konfiguration führt dazu, daß die Heizenergie zum Teil an den  $\text{LH}_2$  abgeführt wird und aufsteigende Dampfblasen teilweise rückkondensiert werden. Somit wird ein Teil der Heizleistung zur Anwärmung der Flüssigkeit abgeführt und nur der verbleibende Anteil der Heizleistung zur Verdampfung und damit zum unmittelbaren Druckaufbau genutzt.

Darüber hinaus verursacht das Verdampfen des  $\text{LH}_2$ 's mittels einer am Boden des Speicherbehälters angeordneten elektrischen Heizung eine rasche Siedepunkterhöhung in der flüssigen Phase. Bei den bisherigen Systemen wird nach Abschluß des Betankungsvorganges eine möglichst rasche Angleichung der Siedetemperatur an den notwendigen Betriebsdruck angestrebt. Dies allerdings wirkt sich nachteilig auf die Standzeit des wasserstoffgetriebenen Kraftfahrzeuges im Parkbetrieb aus. Zwangsläufig auftretende Isolationsverluste können dann nicht in die unterkühlte Flüssigkeit abgeführt werden, sondern führen zur Verdampfung und somit zu einem erhöhten Kraftstoffverlust durch Abblasen des  $\text{GH}_2$ 's in die Atmosphäre.

Der vorliegenden Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, einen Speicherbehälter für  $\text{LH}_2$  anzugeben, bei dem sowohl der Druckaufbau als auch das Aufrechterhalten des für den Fahrbetrieb notwendigen Druckes ohne die oben beschriebenen Nachteile durchgeführt werden kann. Darüber hinaus soll sich der Betankungsvorgang einfacher, sicher und schneller durchführen, die Anzahl der Ventile reduzieren und der beim Betanken des Kraftfahrzeuges anfallende Kraftstoffverlust minimieren lassen. Ferner liegt der vorliegenden Erfindung die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Betreiben eines Antriebsaggregats mit  $\text{LH}_2$  oder  $\text{GH}_2$  anzugeben, bei dem zum einen ein plötzlich auftretender Druckverlust schnell nachgeregelt und zum anderen ein im Speicherbehälter entstehender Überdruck schnell abgebaut werden kann.

Der erste Teil der gestellten Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch erreicht, daß im Inneren des Speicherbehälters eine Mammutpumpe befestigt ist, deren oberes Ende in den Gasraum des Speicherbehälters hineinragt, und daß in dem Gasraum eine Verdampfer-Heizung vorgesehen ist.

Dadurch gelingt es, die Verdampfung von  $\text{LH}_2$  zum Zwecke des Druckaufbaus und der Druckerhaltung innerhalb des Gaspolsters im Bereich über dem Flüssigkeitsspiegel durchzuführen.

Eine Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters ist dadurch gekennzeichnet, daß die Verdampfer-Heizung am oberen Ende der Mammutpumpe befestigt ist.

Bei dieser Ausführungsform des erfindungsgemäßen Speicherbehälters verringert sich die Wärmeeinbringung über die für den Verdampfer benötigten Stromzuführungskabel erheblich. Bei den zum Stand der Technik zählenden Speicherbehältern, die eine am Speicherbehälterboden angebrachte elektrische Verdampferheizung aufweisen, müssen die Stromzuführungskabel gegen die Umgebung aufwendig isoliert werden, um die Verdampfungsrate des  $\text{LH}_2$ 's nicht unnötig zu erhöhen.

Bei dem erfindungsgemäßen Speicherbehälter hingegen verlaufen die Stromzuführungskabel durch den Gasraum, so daß über sie keine Wärme direkt in die Flüssigkeit eingebracht wird. Dies führt speziell im Parkbetrieb zu einer Verringerung der Verdampfungsverluste.

Eine zweite Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters ist dadurch gekennzeichnet, daß die Verdampfer-Heizung innerhalb der Mammutpumpe befestigt ist.

Welche der beiden Ausgestaltungen gewählt wird, hängt im wesentlichen von der von der Mammutpumpe zu bewältigenden Förderhöhe ab.

Mittels der Mammutpumpe, bei der die aufsteigende Gasblasen den  $\text{LH}_2$  mitreißen, wird dieser zum oberen, in das Gaspolster hineinragende Ende der Mammutpumpe transportiert. Dort gelangt der  $\text{LH}_2$  im Falle der ersten Ausgestaltung auf die Heizflächen der am oberen Ende der Mammutpumpe befestigten Verdampfer-Heizung und wird verdampft. Bei der zweiten Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters erfolgt das Verdampfen des mitgerissenen  $\text{LH}_2$ 's bereits innerhalb der Mammutpumpe.

Der Druckaufbau erfolgt also nunmehr nur durch das im Speicherbehälter integrierte Druckaufbausystem, bestehend aus Mammutpumpe und Verdampfer-Heizung, und nicht mehr wie bisher üblich tankstellenseitig durch Einblasen von  $\text{GH}_2$ . Dadurch lassen sich, da keine Bereitstellung von  $\text{GH}_2$  bei einem Druck von 3 bis 4 bar mehr nötig ist, zum einen die Betankungsprozedur verkürzen und vereinfachen sowie die Betankungskosten reduzieren und zum anderen die Kostenverrechnung der Betankung eines wasserstoffgetriebenen Kraftfahrzeuges vereinfachen.

Bei dem erfindungsgemäßen Speicherbehälter kann nahezu die gesamte Heizleistung als Verdampfungswärme genutzt werden. Dadurch erhöht sich die Verdampferleistung, so daß die Möglichkeit des Druckaufbaus nach dem Betanken des Kraftfahrzeuges im Speicherbehälter gegeben ist. Der Druckaufbau erfolgt unmittelbar nach dem Abziehen der Betankungskupplung. Die Zeit für den Druckaufbau in einem 6 Liter Gaspolster — eine Größenordnung, wie sie in herkömmlichen Personenkraftwagen-Speicherbehältern gegeben ist — beträgt nunmehr lediglich etwa 1 Minute, während dafür bisher etwa 10 Minuten zu veranschlagen waren. Ferner wird die Regelgeschwindigkeit des Druckhaltesystems erhöht, so daß Druckabsenkungen aufgrund von Rückkondensationen von  $\text{GH}_2$  in den unterkühlten  $\text{LH}_2$  schneller ausgeglichen werden können.

Die Siedepunktsangleichung an den für den Fahrbetrieb notwendigen Druck von 3 bis 4 bar erfolgt bei dem erfindungsgemäßen Speicherbehältern erst verzögert nach längerem Fahrbetrieb. Beginnt der Parkbetrieb noch vor dem Erreichen der Siedepunktsangleichung, können die Unterkühlung des  $\text{LH}_2$ 's zur Aufnahme von Isolationswärmeverlusten genutzt und somit die Verdampfungsverluste reduziert werden.

Mittels des erfindungsgemäßen Speicherbehälters läßt sich die Befüllmenge bei einem Druck von 1 bar um etwa 10% gegenüber einem Befüllen bei einem Druck von 4 bar erhöhen, bedingt durch die höhere Dichte des  $\text{LH}_2$ 's bei einem Druck von 1 bar. Wird der Speicherbehälter jedoch bei einem Druck von 1 bar bis zur maximalen Füllhöhe befüllt, bewirkt eine nachfolgende Erwärmung eine thermische Ausdehnung der Flüssigkeit. Diese läuft über die Entnahmeleitung ab und wird während des Fahrbetriebs im nachfolgenden Wärmetauscher verdampft und dem Antriebsaggregat zugeführt.

Folgt dem Betankungsvorgang ein Parkbetrieb verdampft der  $\text{LH}_2$  in der Zuleitung zum Überström- und Sicherheitsventil und der so verursachte Druckanstieg führt zu einem Abblasen von  $\text{GH}_2$  in die Atmosphäre. Somit ist eine maximale Befüllung des Speicherbehälters nur sinnvoll, wenn dem Betankungsvorgang ein Fahrbetrieb folgt.

Bei Verwendung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters kann auf alle bisher notwendigen Kalt-Ventile verzichtet werden. Dies sind sämtliche Ventile, die in der bereits obengenannten vakuumisolierten Ventilbox angeordnet sind. Es ist nurmehr ein Schaltventil zwischen dem Wärmetauscher und dem Motor erforderlich. Ferner wird durch den Wegfall der Kalt-Ventile, also der vakuumisolierten Ventilbox, und der dazugehörenden Steuerung sowie durch die resultierende Verkürzung der wasserstoffführenden Leitungen das System vereinfacht, wodurch die Anlagensicherheit wesentlich erhöht wird, da funktionsstör anfällige Komponenten entfallen.

Aufgrund der kürzeren Rohrlängen sowie der fehlenden Ventilbox und der verkleinerten Steuereinheit verringert sich das Gesamtgewicht und vergrößert sich das Raumangebot, was speziell bei kleineren Kraftfahrzeugen einen nicht unerheblichen Vorteil darstellt.

Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters dadurch gekennzeichnet, daß in das Innere des Speicherbehälters eine Einspeiseleitung führt, die an ihrem Ende eine Brause aufweist.

Mit der am Ende der Einspeiseleitung vorgesehenen Brause kann der einzuspeisende  $\text{LH}_2$  fein verteilt durch den Gasraum zur Restflüssigkeit im Speicherbehälter abbrausen bzw. versprüht werden. Wird dabei der  $\text{LH}_2$  über eine Pumpe aus dem stationären Tank, in dem er bei einem Druck von etwa 1,2 bar gelagert ist, in den Speicherbehälter gefördert, kommt es zu einem Einkondensieren des im Speicherbehälter verbliebenen  $\text{GH}_2$ 's.

Durch den Wegfall des bisher verwendeten  $\text{LH}_2$ -Tauchrohres erhöht sich die Sicherheit des Speichersystems, da nunmehr nur die im Speicherbehälter eingeschlossene Gasmenge und die Gasmenge, die bei einer Drucksenkung aus der Flüssigkeit verdampft — wie z. B. bei einem Leitungsbruch oder einer Ventilfehlschaltung —, in die Atmosphäre entweichen können.

Der Speicherbehälter wirkt somit als ein geschlossenes doppelwandiges Containment ohne Entleerungsmöglichkeit für den  $\text{LH}_2$ . Dieser Sicherheitsaspekt kann der Akzeptanz des Betriebsmediums "Wasserstoff" nur dienen.

Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters ist dadurch gekennzeichnet, daß am oberen Ende der Mammutpumpe ein Überlaufgefäß, aus dem eine Entnahmeleitung führt, vorgesehen ist.

Während des Fahrbetriebes kann die am oberen Ende der Mammutpumpe befestigte Verdampfer-Heizung zumindest zeitweilig ausgeschaltet werden, wenn der Druck im Speicherbehälter alleine durch die in der Mammutpumpe integrierte Heizung auf dem für den Fahrbetrieb notwendigen Druckniveau gehalten werden kann. In diesem Falle wird über die aus dem Überlaufgefäß wegführende Entnahmeleitung  $\text{LH}_2$  entnommen, im Wärmetausch mit Motorkühlwasser verdampft und angewärmt und dem Motor zugeführt. Im Falle eines Druckanstieges hingegen wird die Heizung der Mammutpumpe abgeschaltet, d. h. kein  $\text{LH}_2$  mehr in den Gasraum befördert und das Überlaufgefäß wird über die Entnahmeleitung entleert. Sobald dies geschehen ist, kann der Wasserstoff in gasförmiger Form über die Entnahmeleitung aus dem Speicherbehälter abgezogen und

der Druck im Speicherbehälter wieder gesenkt werden.

Bei einer gasförmigen Kraftstoffentnahme aus einem vollen, mit unterkühltem  $\text{LH}_2$  gefüllten Speicherbehälter sind Druckschwankungen nicht zu vermeiden. Das kleine Gasvolumen von etwa 5%, das nach einer Betankung verbleibt, ergibt ein zu kleines Puffervolumen, so daß bei Spitzenlast des Kraftfahrzeugmotors die Druckregelung nicht schnell genug reagieren kann. Gerade bei einem hohen Tankfüllungsgrad jedoch ist deshalb die Flüssigkeitsentnahme von wesentlicher Bedeutung. Das System der Flüssigkeitsförderung durch eine Mammutpumpe eignet sich hierfür in besonderem Maße, da die Förderleistung der Pumpe mit zunehmendem Speicherbehälterfüllungsgrad steigt. Das im Überlaufgefäß gespeicherte Flüssigkeitsvolumen dient hierbei als Puffer für eine plötzlich auftretende Spitzenlast. Mit einem abnehmenden Füllungsgrad vergrößert sich das Gas-puffervolumen. Auch nähert sich aufgrund der Wärme-einbringung über das Druckaufbausystem die Temperatur des  $\text{LH}_2$ 's der Siedetemperatur, die dem Betriebsdruck analog ist. Damit wird eine gasförmige Kraftstoffentnahme möglich.

Die Entnahme von  $\text{LH}_2$  bei hohem Tankfüllungsgrad und ein zunehmender Anteil der Gasphasen-Entnahme mit sinkendem Füllungsgrad stellt sich bei Verwendung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters automatisch ein, da die Förderleistung der Mammutpumpe sinkt und die Pumpenheizung zunehmend als Verdampfer wirkt. Auch wird die Druckregelung zunehmend durch die Pumpenheizung übernommen.

Eine weitere Ausgestaltung des erfindungsgemäßen Speicherbehälters ist dadurch gekennzeichnet, daß im Inneren des Speicherbehälters mehrere, vertikal ausgerichtete und parallel zueinander angeordnete Bleche befestigt sind.

Selbstverständlich sind dem Fachmann weitere Vorrichtungen bekannt, wie z. B. Gestrickeinsätze, die ein Schwappen des flüssigen Wasserstoffes wirkungsvoll verhindern.

Die Rückkondensationsgeschwindigkeit des  $\text{GH}_2$ 's in den  $\text{LH}_2$  ist abhängig von der Oberflächenbewegung der Flüssigkeit. Aus diesem Grunde ist ein während des Fahrbetriebes auftretendes Durchmischen des  $\text{LH}_2$ 's mit dem  $\text{GH}_2$  zu vermeiden. Mittels der vertikal ausgerichteten und parallel zueinander angeordneten Bleche kann ein Schwappen des  $\text{LH}_2$ 's und ein damit verbundenes Vermischen von  $\text{LH}_2$  und  $\text{GH}_2$  wirkungsvoll verhindert werden.

Der zweite Teil der gestellten Aufgabe wird erfindungsgemäß dadurch gelöst, daß mittels eines Drucksensors der Druck im Gasraum des Speicherbehälters ermittelt und bei Erreichen eines eingestellten Maximalwertes die Mammutpumpe abgeschaltet und erst nach Erreichen eines eingestellten Druckminimalwertes wieder eingeschaltet wird.

Diese Verfahrensweise erlaubt nun eine optimale Korrelation zwischen der Art des Fahrbetriebes (Vollastbetrieb, Stop-and-Go, etc.) und dem im Speicherbehälter herrschenden Druck.

Der einzustellende Druckmaximalwert, der bei etwa 5 bar liegt, wird in erster Linie durch die Auslegung der aus dem Speicherbehälter führenden Entnahmeleitung sowie die zwischen Speicherbehälter und Motor angeordneten Bauteile bestimmt. Der Druckminimalwert ist derjenige Druck der zum Aufrechterhalten eines normalen Fahrbetriebes notwendig ist. Ist ein Ende des Fahrbetriebes absehbar, ist es sinnvoll, das Druckminimum zu unterschreiten, was durch eine einfache logische

Schaltung zu realisieren ist, da dadurch der im Parkbetrieb aufgrund der unvermeidlichen Verdampfung von  $\text{LH}_2$  beginnende Druckanstieg und das daraus resultierende Abblasen von  $\text{GH}_2$  in die Atmosphäre zeitlich verzögert eintritt.

Mittels des erfindungsgemäßen Verfahrens ist somit eine bzgl. Druckschwankung bzw. -änderungen schnell reagierende Regelmöglichkeit gegeben.

Die erfindungsgemäße Speicherbehälter wird anhand der Fig. 2 und 3 dargestellt. Hierbei besitzen identische Bauteile gleiche Bezugszeichen. Der Übersichtlichkeit halber wird der Speicherbehälter ohne die notwendige Isolierung sowie ohne die Anti-Schwappeinbauten dargestellt.

Fig. 2 zeigt den erfindungsgemäßen Speicherbehälter 1 in den die Einspeiseleitung 7, die an ihrem Ende eine Brause 8 aufweist, führt. Am Boden des Speicherbehälters 1 ist eine Mammutpumpe befestigt, bestehend aus zwei konzentrisch angeordneten Rohren 9 und 10. Mittels einer am Fuß der Mammutpumpe angeordneten Pumpenheizung 11 wird der über den Spalt 12 in die Mammutpumpe eintretende  $\text{LH}_2$  teilweise verdampft. Die dabei entstehenden Gasblasen 13 reißen den  $\text{LH}_2$  im Ringspalt 14 mit und fördern ihn zum oberen Ende der Mammutpumpe. Um ein Rückkondensieren der Gasblasen 13 zu verhindern, ist das äußere der beiden konzentrisch zueinander angeordneten Rohre 9 und 10 zusätzlich mit einer Isolierung 15 versehen. Der in der Ellipse E dargestellte obere Teil der Mammutpumpe ist in Fig. 3 näher erläutert.

Der mit den Gasblasen 13 in dem Ringspalt 14 der Mammutpumpe mitgerissene  $\text{LH}_2$  gelangt auf die Heizflächen des Verdampfers 16 (dargestellt durch den Pfeil 17) und wird dort durch Wärmezufuhr mittels der Heizdrähte 18 verdampft. Der Teil des mitgerissenen  $\text{LH}_2$ s der nicht verdampft wird, unter Umständen ist Verdampfer 16 ausgeschaltet, gelangt in das Überlaufgefäß 19 (dargestellt durch den Pfeil 20). Aus diesem wird der  $\text{LH}_2$  über die Entnahmeleitung 21 aus dem Speicherbehälter 1 abgeführt, im Wärmetausch mit Motorkühlwasser verdampft und angewärmt und anschließend dem Motor zugeführt (nicht dargestellt). Bei einem Druckanstieg wird die Mammutpumpe ab einem bestimmten Druckwert abgestellt, woraufhin die über dem Verdampfer 16 und in dem Überlaufgefäß 19 verbliebene Flüssigkeit über die Entnahmeleitung 21 abgeführt und anschließend  $\text{GH}_2$  über die Entnahmeleitung 21 aus dem Speicherbehälter 1 abgeführt wird.

4, dadurch gekennzeichnet, daß am oberen Ende der Mammutpumpe ein Überlaufgefäß, aus dem eine Entnahmeleitung führt, vorgesehen ist.

6. Speicherbehälter nach einem der Ansprüche 1 oder 5, dadurch gekennzeichnet, daß im Inneren des Speicherbehälters mehrere, vertikal ausgerichtete und parallel zueinander angeordnete Bleche befestigt sind.

7. Verfahren zum Betreiben eines Antriebsaggregats mit flüssigem oder gasförmigem Wasserstoff aus einem Speicherbehälter nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, daß mittels eines Drucksensors der Druck im Gasraum des Speicherbehälters ermittelt und bei Erreichen eines eingestellten Maximalwertes die Mammutpumpe abgeschaltet und erst nach Erreichen eines eingestellten Druckminimalwertes wieder eingeschaltet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

#### Patentansprüche

1. Speicherbehälter für flüssigen Wasserstoff, dadurch gekennzeichnet, daß im Inneren des Speicherbehälters eine Mammutpumpe befestigt ist, deren oberes Ende in den Gasraum des Speicherbehälters hineinragt, und daß in dem Gasraum eine Verdampfer-Heizung vorgesehen ist.
2. Speicherbehälter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdampfer-Heizung am oberen Ende der Mammutpumpe befestigt ist.
3. Speicherbehälter nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, daß die Verdampfer-Heizung innerhalb der Mammutpumpe befestigt ist.
4. Speicherbehälter nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, daß in das Innere des Speicherbehälters eine Einspeiseleitung führt, die an ihrem Ende eine Brause aufweist.
5. Speicherbehälter nach einem der Ansprüche 1 bis

- Leerseite -



Fig. 1

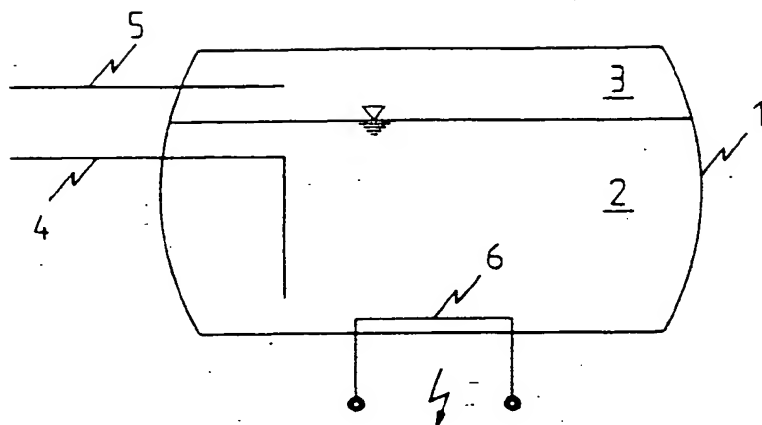


Fig. 2

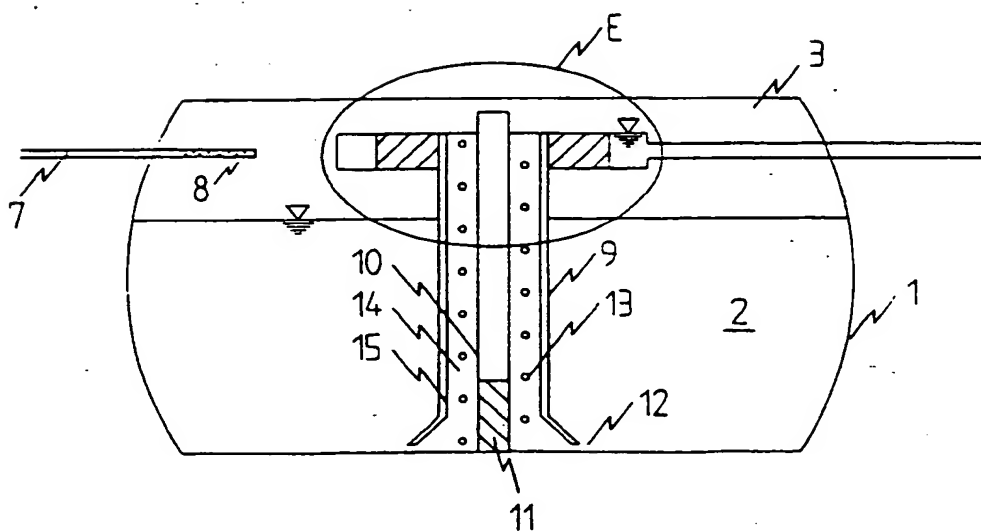


Fig. 3

